

6
24 1997 01 10
Национальная Академия Наук Белоруссии
Институт физики им.Б.Е.Степанова

УДК 629.7.016 + 629.7.8

ЗАКИРОВ Урал Нуриевич

**ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ДИНАМИКЕ ТЕЛ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ
ПОКОЯ**

Специальность 01.04.02 – теоретическая физика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Минск - 1997

Работа выполнена в Казанском физико-техническом институте
и Институте механики и машиностроения
Казанского научного центра Российской Академии Наук.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор БРУМБЕРГ В.А.

доктор физико-математических наук,
профессор ГОРБАЦЕВИЧ А.К.

доктор физико-математических наук,
профессор ПИРАГАС К.А.

Оппонирующая организация: Казахский государственный
университет, г. Алма-Ата.

Защита диссертации состоится "19" декабря 1997 г. в 14 час.
на заседании специализированного Совета Д01.05.02 при институ-
те Физики АН БЕЛОРУССИИ

Адрес: 220072 г. Минск, Пр. Ф.Скорины 70, Институт Физики
им Б.И.Степанова АН Белоруссии.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
Физики АН Белоруссии.

Автореферат разослан "31" октября 1997 г.

Ученый секретарь Совета
по защите диссертаций
кандидат физ.-мат. наук



Ю.А. Курочкин.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы непосредственно определяется одной из проблем теоретической физики, связанной с гравитационными волнами (Damour T., 1983, Гришук Л.П., Копейкин С.М., 1983) и проблемами управляемого термоядерного синтеза (Завойский Е.К., 1972). Одним из источников гравитационных волн являются релятивистские близкие двойные системы; анализ выделения энергии массы покоя и позволяет уточнить интенсивность гравитационных волн, особенно на эволюционной стадии перетока масс с одного компонента на другую звезду. Построение теории, близкой к наблюдаемым, позволит улучшить создаваемые ныне детекторы гравитационных волн.

Изучение теории устойчивости и горения термоядерных мишеней при воздействии лазерных пучков с учетом изменения массы и релятивистских поправок к балансу энергии позволит подбирать нужные технологии изготовления мишеней и программ интенсивности лазерных устройств.

Так же, как и в нерелятивистском случае, когда теория переменной массы в ньютоновской механике послужила основой для проектирования реактивной техники, релятивистская механика сосредоточенной переменной массы покоя может послужить основой для учета релятивистских поправок к массе покоя при создании миллизетовых энергосиловых установок, создании новых навигационных систем и измерительной техники, проектирования многоступенчатых ракетных систем как при освоении планет Солнечной системы, так и более удаленных небесных тел.

Далее, настоящая работа позволяет исследовать космологические модели, где важен учет изменения масс покоя во Вселенной,

изучать модели распределения материи на основе наблюдательных данных, получаемых телескопом Hubble и другими астрофизическими спутниками.

Весьма важным является проверка теории относительности Эйнштейна на основе сверхточных измерений параметров, являющихся опосредственным тестом проверки при анализе траекторных измерений околосолнечных спутников проекта "Ньютон" и спутников Юпитера. Таким образом, развитие настоящей темы связано с крупными научными программами: гравитационные детекторы, спутники Солнца, термоядерная энергетика, перспективные космические аппараты.

Наконец, проблема углубленного изучения геометризации физики не обходится без известного факта о том, что переменная масса покоя тесно связана с понятием струны и длиной в пространстве скоростей Лобачевского. Это ведет к решению данной проблемы путем привлечения избыточного измерения, эквивалентного относительной массе покоя. Таким образом, следует и дальше искать аргументы, подтверждающие то, что переменная масса - геометродинамическая характеристика пространства-времени.

После успешного создания А.Эйнштейном в 1915г. уравнений, правильно описывающих поле тяготения, многие фундаментальные направления, связанные с астрономией, подверглись глубокому изучению с позиций этой теории; это коснулось и небесной механики как науки о гравитационном движении небесных тел; примером служат итоги многолетних работ Брумберга В.А. (1972, 1981) и его учеников Копейкина С.М. (1983, 1990) и Клиопера С.А. (1990) по созданию базы постньютоновской небесной

механики; следует отметить труды Пирагаса К.А. (1995) по качественным методам анализа уравнений релятивистской динамики; работы Павлоцкого И.П. (1976) по статическим свойствам слабо-релятивистских систем; труды Чандрасекхара С. (1983) по дальнейшей классификации неньютоновских траекторий вблизи коллапсара, работы Томильчика Л.М. (1976) по представлению массы покоя, как классической динамической переменной в теории релятивистских струн, а также исследования устойчивости траекторий вблизи коллапсара при наличии сопротивления (Рябушко А.П., 1976, 1984); работы Горбачевича А.К. (1981) по квантомеханическому описанию частиц во внешнем гравитационном поле; наконец, труды Абдильдина М.М. (1988) по механике теории гравитации Эйнштейна.

Основой для подобных сложных и тонких исследований по релятивистской динамике тел переменной массы покоя должны служить решения широкого круга вопросов, касающихся формулировки закона сохранения энергии импульса, перехода к модели сосредоточенной переменной массы покоя, к островной модели материи, строгого и полного вывода уравнений импульса и энергии для незамкнутой системы, каковыми являются тела переменной массы покоя, получение алгоритмов для расчета масс в каждый момент времени в мгновенно-сопутствующей системе отсчета — в рамках общей теории относительности.

Цель диссертационной работы: Создать основы релятивистской механики сосредоточенной переменной массы покоя, дополняя этим современную теорию относительности для случая тел переменной массы покоя.

Получить решения и провести их анализ в рамках специаль-

ной и общей теории относительности, выявить релятивистские поправки для различных случаев процесса отбрасывания и присоединения частиц и энергии.

Научная новизна. В диссертационной работе получены релятивистские дифференциальные уравнения второго порядка сосредоточенной переменной массы покоя, решение которых позволяет предсказать эволюцию движения модели тела переменной массы покоя во всем диапазоне скоростей, при малых гравитационных полях и в полях близ коллапсаров.

Научная ценность заключается в формулировке закона сохранения энергии-импульса для модели "трехкомпонентной пылевидной материи" — потока отбрасываемых от тела частиц переменной массы покоя, присоединяемых к телу частиц переменной массы покоя и многообразия точек, составляющих тело переменной массы, а также точек, изменение массы которых эквивалентно диссипативным процессам, происходящим в теле под действием негравитационной внешней силы.

Практическая ценность заключается в возможности оценки релятивистских поправок к энергии, импульсу, массе при анализе процессов, происходящих в астрофизике, двойных тесных звездных парах; при анализе вновь создаваемых систем термоядерного управляемого синтеза, при создании миллсветовых летательных аппаратов нового поколения на основе термоядерной энергии, включая создание новых защитных покрытий от микрометеоритов, при создании новых детекторов гравитационных волн.

Экономическая значимость полученных результатов заключается в получении оптимальных, а, значит, и экономически выгодных выборов параметров, особенно, если тема конкретных работ

связана с созданием ступенчатых энергетических систем ракет — в космонавтике, мишеней — в термоядерном синтезе, при выборе оптимальных проектных траекторий.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. В рамках специальной теории относительности и при наличии гравитации получены релятивистские уравнения в замкнутой форме для энергии и импульсов сосредоточенной переменной массы. Эти уравнения совпадают по форме с уравнениями энергии и импульса пробной частицы постоянной массы, однако в правой части наряду с негравитационными силами появляются силы реактивные за счет отбрасывания и присоединения частиц и выделения энергии при действии диссипативных сил, дан полный анализ уравнений; получены релятивистские поправки к компонентам уравнения, массе покоя.

2. Впервые получено обобщенное решение формулы Циолковского для случая переменной скорости отбрасывания и присоединения частиц — зависимость текущей массы покоя от скорости движения сосредоточенной массы.

3. Дана физическая интерпретация компонент уравнения энергии сосредоточенной переменной массы как энергии трех компонент — отбрасываемых и присоединяемых частиц и условных частиц, энергия которых эквивалентна тепловой энергии от действия внешних сил.

4. Дан геометрический вывод уравнения энергии сосредоточенной переменной массы покоя как совместное решение треугольника в пространстве скоростей в геометрии Лобачевского с использованием Архимедова закона рычага первого и второго рода (для каждого момента собственного времени τ).

5. Разработана кинематика ТПМ с постоянной реактивной тягой и постоянной мощностью, что позволяет сравнить соответствующие уравнения с нерелятивистским случаем во всем диапазоне скоростей движения, выявить релятивистские поправки в кинематических соотношениях.

6. Методом "эффективной массы" решена аналитически задача о движении сосредоточенной переменной массы покоя в среде с сопротивлением; в этом случае гамильтониан отражает кинетическую энергию эффективной массы и энергию диссипации.

7. Сформулирована задача об оптимальном разделении тела переменной массы покоя, доказана теорема о законе геометрической прогрессии распределения "горящей" массы покоя, дающей конечному фрагменту максимальную конечную скорость (энергию); получены релятивистские поправки к оптимальному делению.

8. На основе уравнения движения сосредоточенной переменной массы в гравитационном поле при постоянном как радиально, так и тангенциально направленном реактивном ускорении получены первые интегралы, позволявшие получать расширенный класс неньютоновских траекторий вблизи коллапсара.

9. Получены релятивистские поправки при импульсных дожогах при организации последовательных околосолнечных траекторий типа орбит проекта "Ньютон".

10. Рассмотрен принципиально новый подход при изучении динамики систем переменного состава, а именно: использование избыточной (пятой) координаты, предлагаемой в качестве относительной массы покоя; на этой основе получены и решены уравнения геодезических на основе метрики Росса, метрические тензоры

которых зависят от пятой координаты; дан пример решения космологической задачи.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается сравнением решений рассматриваемых проблем с данными, полученными при предельном случае малых скоростей и энергии, и с результатами, известными в литературе и подтвержденными опытами.

Апробация работы. Результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в виде 46 статей в научных журналах и трудах конференций. Они докладывались на IV всесоюзной гравитационной конференции в Минске (1976 г.), на V всесоюзной гравитационной конференции в Москве (1981 г.), на международных конференциях по геометризации физики в Казани (1993г., 1995г.), в международной школе-семинаре "Основания теории гравитации и космологии" в Одессе (1995г.), на V всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике в Алма-Ате (1981г.), на III международной конференции "Ньютон и проблемы механики" в С.-Петербурге (1993 г.), на всепольской конференции по проблемам небесной механики, Польша, Бахотек, (1994 г.), на международном астронавтическом конгрессе в Испании, Торриманолис (1989 г.); на международном симпозиуме по биоастронавтике во Франции, Валь Ценис, Альпы, (1990 г.), на всесоюзной конференции по небесной механике в Казани (1985 г.), на всесоюзных конференциях, посвященных пионерам космонавтики в Москве и изучению научного наследия К.Э.Циолковского в Калуге (1983 – 1991 г.г.), на научных семинарах кафедры теории относительности и гравитации Казанского университета (проф. Кайгородов В.Р.), на научных семинарах Казанского физико-технического

института им. Е.К.Завойского (проф. Кессель А.Р.), Казанского института механики (проф. Ильгамов М.А.), Казанского технического университета (проф. Сиразетдинов Т.К.), в институте астрофизики АН Казахстана (проф. Абдильдин М.М., проф. Омаров Т.Б.), Алма-Ата, в университете Дружбы народов им. П.Лумумбы (проф. Галиуллин А.С.), в Ленинградском университете (проф. Новоселов В.С.), на семинарах ИПМ им. М.В.Келдыша РАН (член- корр. РАН Маров М.Я., Энеев Т.М.), физикотехническом институте РАН (д.ф.м.н. проф. Лупичев Л.Н.), в Центре подготовки космонавтов (Ученый Совет Центра, П.Р. Попович).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, включающего 180 наименований, и содержит 226 машинописных страниц, подготовленных в издательской системе LaTeX , в том числе 6 таблиц и 34 рисунка.

Краткое содержание работы

Во введении охарактеризованы состояние, актуальность и степень освоения изучаемой проблемы, показано место настоящей диссертации в общем направлении исследований динамики тел переменной массы покоя.

Первая глава посвящена выводу основных уравнений динамики сосредоточенной переменной массы покоя (ТПМ) в рамках специальной теории относительности

$$\begin{aligned} \bar{m}_0 \frac{DV^\gamma}{d\tau} = & \left(\frac{A^\gamma}{A^\alpha V_\alpha} - V^\gamma \right) \frac{d\bar{m}_0}{d\tau} + \left(W^\gamma - \frac{W^\alpha V_\alpha}{A^\alpha V_\alpha} A^\gamma \right) \frac{d\bar{m}_0^*}{d\tau} + \\ & + F_g^\gamma / cM_0 - \frac{(F_g^\alpha V_\alpha) A^\gamma}{(A^\alpha V_\alpha) cM_0}, \quad \gamma = 0, 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (1)$$

$$c^2 d\bar{m}_0^* = \frac{c^2 d\bar{m}_0}{(A^\gamma V_\gamma)} - c^2 \left(\frac{W^\gamma V_\gamma}{A^\gamma V_\gamma} \right) d\bar{m}_0^{**} - c^2 \left(\frac{F_g^\gamma V_\gamma}{(A^\gamma V_\gamma) cM_0} \right) d\tau, \quad (2)$$

где $V^\gamma, A^\gamma, W^\gamma$ - 4-х скорости ТПМ, отбрасываемых и присоединяемых частиц с массами m_0^* и m_0^{**} на основе гипотезы Мешерского-Папапетру о контактном взаимодействии частиц с границей сплошной среды, моделируемой ТПМ, $|A^\gamma, V_\gamma|, |W^\gamma, V_\gamma|$ — инварианты. Уравнения (1) получены на основе сохранения энергии-импульса системы переменной массы покоя в лабораторной системе отсчета путем рассмотрения баланса энергии и импульса через объем ω ; далее совершается предельный переход от объема ω к сосредоточенной переменной массе покоя методом Фока; уравнения энергии и импульса приобретают обычный вид законов сохранения, если в правой части записать члены, возникающие за счет изменения массы покоя (прибавочная реактивная 4-х сила и диссипативные силы); система отсчета взята неподвижной.

В главе дается физический и геометрический анализ уравне-

ний (1) и (2), формулируется теорема о дифференциале кинетической энергии ТПМ; впервые выводится выражение для скорости истечения $v_{\text{ист}}$, зависящей от относительной массы $\bar{m}_0 = m_0/M_0$ и параметров β , μ , характеризующих отличие процесса изменения массы от адиабатического; получено самое общее решение 3-мерной скорости \bar{v} от функции $D(\bar{m}_0, \beta, \mu)$, являющееся обобщением формулы Циолковского на релятивистский случай. Анализ этого уравнения показывает, что при термоядерных реакциях при миллисветовых скоростях погрешность от ньютоновского решения составляет не менее 3% и при $\bar{v} \geq 0.1$ не следует употреблять формулу Циолковского.

Получено и проанализировано выражение для коэффициента полезного действия $\eta = \eta(\bar{v}/\bar{v}_{\text{ист}}, \beta, \mu)$; рассмотрена кинематика движения ТПМ с постоянным ускорением и тягой и впервые получено дифференциальное уравнение для массы покоя в случае движения с постоянной мощностью $N = \text{const}$; сформулирован метод "эффективной массы" для решения задач движения ТПМ в сопротивляющейся среде, позволяющий получить гамильтониан, включающий в себя диссипативные члены.

Наконец, дана геометрическая интерпретация уравнения энергии и движения ТПМ посредством перехода к длине в пространстве скоростей Лобачевского в форме, отличной от общепринятой.

Во второй главе изучается одномерное тело переменной массы покоя, условно разделенное на n конечных частей (фрагментов); каждый фрагмент частично "выгорает", оставшаяся часть массы отбрасывается от остального тела: начинает "выгорать" следующий фрагмент по указанной процедуре; после $n-1$

"выгораний" остается последний фрагмент, который за счет импульсов, возникающих при делениях разгоняется до конечной скорости \bar{v}_k . Оказывается, возможно такое сочетание сторающих масс фрагментов, которая максимизирует \bar{v}_k . Таким образом, доказывается теорема о том, что если каждая последующая сторающая часть фрагментов убывает в геометрической прогрессии, то конечная скорость последнего фрагмента после выгорания будет максимальной.

Глава третья посвящена движению ТПМ в гравитационном поле. Формулируется закон сохранения энергии-импульса тела переменной массы покоя в рамках ОТО, учитывая равенство гравитационной и инертной массы, а также локальный принцип эквивалентности, опирающийся на это равенство:

$$T_{;\beta}^{\alpha\beta} = T_{;\beta}^{*\alpha\beta} + T_{;\beta}^{**\alpha\beta} \quad (3)$$

$$\alpha, \beta, \rho = 1, 2, 3, 0$$

Методом Фока получены уравнения динамики ТПМ в выбранном поле:

$$\begin{aligned} \bar{m}_0 \frac{dV^\nu}{ds} = & A^\nu \frac{dm_0^*}{ds} + W^\nu \frac{dm_0^{**}}{ds} + F^\nu / cM_0 - \\ & - V^\nu \frac{d\bar{m}_0}{ds} - \bar{m}_0 \Gamma_{\alpha\beta}^\nu v^\alpha v^\beta, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Gamma_{\alpha\beta}^\nu$ определяют связность неплоского пространства, а 4-х скорости по определению связаны с хронометрически-инвариантными скоростями (х.и.)

$$V^\nu = \frac{q^\nu}{c\sqrt{1-q^2}},$$

где

$$q^\nu = \frac{dx^\nu}{d\bar{t}}$$

$$d\tau = \frac{g_{0\alpha} dx^\alpha}{c\sqrt{g_{00}}}. \quad (5)$$

Переходя к локально геодезической системе

$$z^\nu = a^\nu_\beta (x^\beta - x^\beta_p) + \frac{1}{2} (\Gamma^\beta_{\alpha\mu})_p \cdot a^\nu_\beta (x^\alpha - x^\alpha_p) (x^\mu - x^\mu_p), \quad (6)$$

записываются эквивалентные уравнения динамики ТПМ; методом проекции уравнений движения и энергии ТПМ в поле Шварцшильда в евклидовой плоскости получены релятивистские поправки к ньютоновским уравнениям; получены первые интегралы энергии для постоянного радиального и касательного реактивного ускорения; на этой основе получено приближенное решение в переходной области, включающей окрестность коллапсара и зону, где реактивное ускорение превосходит гравитационное.

В главе сформулирована задача восстановления уравнения движения ТПМ (из класса обратных задач динамики); если заданы интегралы

$$\mathcal{H}_1(r, \dot{x}^0, a) = const,$$

$$\mathcal{H}_2(r, \dot{x}^0, a, M) = const,$$

$$\mathcal{H}_3 = 1 = G_{\alpha\beta} \dot{x}^\alpha \dot{x}^\beta; \quad (7)$$

где a – параметр (вращение поля), M – момент количества движения, тогда множество уравнений плоского движения ТПМ, имеющих заданное частное решение (7), может быть представлено, например, в виде

$$\begin{aligned} \Phi_r(r, \dot{x}^0, a, M) &= \frac{B_r}{c^2}, \\ \Phi_\tau(r, \dot{x}^0, a, M) &= \frac{B_\tau}{c^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где B_r , B_τ , – радиальное и касательное ускорения; поскольку $B_r = B_r(\tilde{m}_0)$, $B_\tau = B_\tau(\tilde{m}_0)$, соотношения (8) позволяют определить зависимость потребной массы покоя от r, a, M , : $\tilde{m}_0 = \tilde{m}_0(r, a, M)$.

Наконец, в главе 3 изучаются уравнения движения ТПМ во вращающейся системе отсчета при наличии статического гравитационного поля (взяв пример поля Шварцшильда); определены релятивистские поправки для ускорения, которое испытывает ТПМ, покоящаяся в данный момент

$$F^i = -c^2 \Gamma_{00}^i / g_{00}, \quad (9)$$

а также релятивистские поправки к кориолисовому ускорению.

Изучение траектории ТПМ вблизи пульсара посвящена г л а в а ч е т в е р т а я.

В § 4.1 качественно рассмотрено радиальное движение ТПМ при наличии радиально направленного ($M = 0$) постоянного ускорения B ; имеем интеграл движения

$$(1 - \alpha/r)V_0 - \frac{Br}{c^2} = h_B \equiv \frac{\sqrt{1 - \alpha/r_0}}{\sqrt{1 - \dot{q}^2}} - \frac{Br_0}{c^2} = const, \quad (10)$$

с помощью которого получим выражение для эффективной энергии

$$V_{эф} = \sqrt{1 - \alpha/r} - \frac{Br_0}{c^2}, \quad (11)$$

и соответственно экстремальное значение α/r :

$$\left(\frac{\alpha}{r}\right)_{\text{экс}} \simeq a^{1/4} - \frac{a^{5/4}}{a + 4a^{3/4}}, \quad a = \frac{4B^2\alpha^2}{c^4}. \quad (12)$$

В § 4.2 оценивается движение ТПМ при $M \neq 0$; обнаружено, что при $\gamma_B = 1 - \alpha/r = 1$ и при $\gamma_B = 1/2$ энергии ТПМ в случае переменной массы покоя разные в отличие от результатов Каплана

для постоянной массы пробной частицы; при $\gamma_B = 1$ $V \rightarrow \infty$, а не к нулю, а скорость \bar{v} стремится к 1, так как постоянно действует реактивное ускорение B .

В § 4.3 исследуются траектории при радиальной постоянной тяге методом Чандрасекхара; основное уравнение траектории оказывается четвертой степени в отличие от случая движения точки постоянной массы покоя; решение траектории имеет вид

$$\Theta - \Theta_0 = \left\{ 1 - \frac{B\alpha}{\tilde{\mu}c^2} \left[1 + e \left(1 + \frac{2}{k^2} \right) \right] \right\} \frac{1}{\omega} F(\Psi, k) + \frac{e}{4Wk^2} \frac{B\alpha}{\tilde{\mu}c^2} E(\Psi, k); \quad (13)$$

где

$$4\tilde{\mu}e \leq k^2 \leq 1, \\ W = \sqrt{1 - 6\tilde{\mu} + 2\tilde{\mu}e - B\alpha/c^2}, \\ \tilde{\mu} = \frac{\alpha}{2a(1 - e^2)}, \quad \omega = W(B=0)/2$$

a – полуось, e – эксцентриситет, α – гравитационный радиус; итак, мы имеем осциллирующую орбиту. При $B = 0$ имеем решение Чандрасекхара.

Для второго случая, когда два корня равны, $\rho_2 = \rho_3$, имеем решение, показывающее стремление ТПМ приближаться к окружности r_* асимптотически по спирали, совершая ∞ число витков:

$$\Theta - \Theta_0 = -\frac{1}{\tilde{\mu}e} \left(1 - \frac{B\alpha(1+e)}{8c^2\tilde{\mu}e} \right) \ln \left| \tan \frac{\kappa}{4} \right|. \quad (14)$$

§ 4.4 посвящен детальному исследованию движения ТПМ при касательном постоянном ускорении; для переменной массы покоя границы гравитационного захвата расширяются; сечение захвата зависит, в частности, не только от момента M , но и ускорения B ; в итоге построены кривые $V_{\phi} = f(r/\alpha)$, которые характеризуют

класс траекторий (финитные и инфинитные) в зависимости от ускорения B .

В главе пятой получены релятивистские поправки в управляемых движениях ТПМ. В частности, получены оценки релятивистских поправок при импульсных дожогах для организации исследовательских орбит вблизи Солнца:

$$\Delta q^2 = (\bar{q}_{r1} - \bar{q}_{r2})^2 + (\bar{q}_{\Theta 1} - \bar{q}_{\Theta 2})^2, \quad (15)$$

Δq - приращение Х.И. скорости; результаты получены на основе постньютоновской теории Брумберга; показано, что поправка к импульсу имеет порядок нескольких см/сек в зависимости от текущего радиуса; формулы для поправок следующие

$$\delta_1 = -\frac{\mu_p (\tilde{\alpha} - 1) \cos \psi_1}{2r_{\pi_1} \tilde{\alpha}} - \frac{3\mu_p (\tilde{\alpha} + 1)}{4 \tilde{\alpha} r_{\pi_1}} + \frac{3\mu_p^2 (\tilde{\alpha} - 1) \cos \psi_1}{r_{\pi_1} \tilde{\alpha}}, \quad (16)$$

$$\delta_2 = -\frac{\mu_p (\tilde{\gamma} - 1)(\tilde{\beta} + \tilde{\gamma})}{2r_{\pi_1}(\tilde{\gamma} + 1)\tilde{\beta}^2} - \frac{3\mu_p (\tilde{\beta} + \tilde{\gamma})}{2 r_{\pi_1} \tilde{\beta}^2} + \frac{3\mu_p^2 \cos \psi (\tilde{\beta} + \tilde{\gamma})(\tilde{\gamma} - \tilde{\beta})}{2 r_{\pi_1} (\tilde{\gamma} + 1)\tilde{\beta}^2}; \quad (17)$$

здесь

$$\tilde{\alpha} = \frac{r_{\alpha_1}}{r_{\pi_1}}, \quad \tilde{\beta} = \frac{r_{\pi_2}}{r_{\pi_1}}, \quad \tilde{\gamma} = \frac{r_{\alpha_2}}{r_{\pi_1}},$$

$$\mu_p = \frac{\tilde{\mu}}{c^2} = \frac{\alpha}{2}, \quad \psi = \nu(\Theta - \Theta_0), \quad \nu = 1 - \frac{3\mu_p}{p},$$

p - параметр орбиты. Индексы (1, 2) относятся к исходной и конечной орбитам.

В § 5.2 вычислены также на основе постньютоновской теории релятивистские поправки к свойству осесимметричного пучка ги-

гиперболических траекторий (направление скорости на поверхности планеты для достаточно широкого пучка траекторий весьма точно совпадает с направлением на центр планеты на расстоянии ρ_B^*). Для Солнца релятивистская поправка $\Delta\rho_B^*$ составляет ~ 300 км при $\rho_B^* = 2,8 \cdot 10^6$ км.

В шестой главе, во-первых, использована теория Калуцы – Клейна для получения гироскопической силы перемещенной массы покоя (когда выполняются условия цилиндричности) и, во-вторых, для обоснования пятой координаты в качестве относительной массы покоя, когда условия цилиндричности не выполняются (пример метрики Росса).

В первом случае имеем метрику вида

$$ds^2 = g_{mn} dq^m dq^n + (dx^5 + \gamma_{5m} dq^m)^2, \quad (18)$$

$$m, n = 1, 2, 3, 0$$

откуда следует, что величина, пропорциональная реактивному ускорению есть линейная функция обобщенных скоростей:

$$k \frac{d\bar{m}_0}{d\tau} \frac{1}{\bar{m}_0} = h_5 - \gamma_{5m} \frac{dq^m}{ds}, \quad k = \text{const.} \quad (19)$$

Во втором случае имеем метрику вида

$$ds^2 = (dx^0)^2 - \gamma_{55}(x^5, x^0)(dx^5)^2 - f^2(x^5, x^0)d\Omega^2, \quad (20)$$

где метрические тензоры зависят от пятой координаты, принятой за величину

$$x^5 = \lambda \bar{m}_0, \quad \bar{m}_0 = \frac{m_0}{M_0}, \quad (21)$$

где λ — некоторый масштаб длины.

Для геодезических, зависящих от x^5 , получен интеграл вида

$$\frac{C_{\Theta}^2}{r^2} + \frac{f^4 \dot{r}^2}{(1 - k r^2)} = C_0, \quad (22)$$

где

$$\begin{aligned}
 C_{\Theta}^2 &= f^4 \tau^4 \dot{\Theta}^2, \\
 f^2 &= \left(\frac{1}{p} - k \right) (x^0)^2 - 2\mu(x^5)x^0 + (\mu^2 + \Theta) / \left(\frac{1}{p} - k \right), \\
 \Theta &= \text{const}, \quad k = \text{const}
 \end{aligned} \tag{23}$$

Начальные условия определяются из решения конкретных космологических задач, где важно оценить влияние изменения масс покоя на принятые теорией модели, согласуемые с наблюдениями.

В з а к л ю ч е н и и сформулированы основные результаты диссертации, которые получены впервые и состоят в следующем:

1. Разработаны основы нового научного направления теоретической физики – релятивистской механики сосредоточенной переменной массы покоя в рамках специальной и общей теории относительности Эйнштейна.

Сформулирован закон сохранения энергии-импульса сплошной среды с учетом источника (стока) массы-энергии, а затем, совершая согласно методу Фока, предельный переход, получены уравнения импульсов и энергии сосредоточенной массы покоя (точки переменной массы покоя).

Выведены с использованием локально геодезической системы координат и принципа эквивалентности уравнения импульсов и энергии сосредоточенной массы покоя при наличии гравитационного поля.

2. Получен закон изменения мощности ТПМ в сопутствующей системе отсчета, где учтены внешние нерелятивистские силы, дана физическая интерпретация 4-х мощности этих сил; доказана

теорема о равенстве дифференциала кинетической энергии ТПМ элементарной работе приложенных реактивных и внешних сил плюс кинетической энергии элементарного количества отбрасываемой части ТПМ в системе отсчета внешнего наблюдателя K .

3. Получено обобщенное выражение для скорости истечения с учетом усредненной доли мощности потока внешних сил и усредненной мощности при изменении внешнего тепла.

Показана разница между скоростью истечения в адиабатическом процессе от скорости истечения при наличии энергии "накачки", следствием которой является закон возрастания энтропии.

Получена зависимость трехмерной скорости от текущей массы в обобщенном выше случае – релятивистском обобщении формулы Циолковского. Дано сравнение с классическим решением.

Получена формула для коэффициента полезного действия, дан анализ зависимости η от отношения скорости движения к скорости истечения.

Определена кинематика реактивного движения с постоянным реактивным ускорением в общем случае переменной скорости истечения. Получена кинематика движения с постоянной тягой и впервые кинематика с постоянной мощностью отбрасываемой струи.

Показана целесообразность управляемого движения с постоянной тягой с дальнейшим переходом в режим с постоянным ускорением.

В главе I удалось методом "эффективной массы" аналитически решить задачу о движении сосредоточенной массы покоя в сопротивляющейся среде; вычислены функции Лагранжа и Га-

милльтона, выделены диссипативные члены.

В исследованных режимах движения выделены релятивистские поправки и даны оценки их величин.

В развитие работ Черникова дана на базе геометрии Лобачевского полная геометрическая интерпретация механики сосредоточенной переменной массы покоя в форме, отличной от ранее опубликованных. Использованы правила рычага Архимеда I и II рода. Ввиду важности понятия гиперболической длины z дается полное с учетом общего преобразования Лагранжа доказательство теоремы о совпадении квадрата относительной скорости с выражением квадрата элемента длины в гиперболическом пространстве.

Наконец, доказывается утверждение о том, что расход массы покоя в сопутствующей системе отсчета эквивалентен длине в пространстве скоростей Лобачевского; другими словами, масса покоя и ее изменение имеют двойкий смысл – физический (энергетический) и геометрический, в смысле длины.

4. Полученные в диссертации уравнения динамики позволили доказать теорему об оптимальном разделении тела переменной массы покоя, что важно при анализе расхода (коагуляции) тел в астрономии и космонавтике; автору удалось решить задачу в наиболее общем виде для случая деления на n частей. Теорема говорит о том, что из множества делений движущегося одномерного тела переменной массы покоя (с коллинеарным импульсом) существует единственное деление по закону геометрической прогрессии, дающее максимальное значение конечной кинетической энергии движения, оставшейся после деления части тела (фрагмента). Даны релятивистские поправки к конечной скорости.

5. При наличии гравитационного поля изучены классы движения сосредоточенной переменной массы покоя как вблизи от сильного источника гравитации (коллапсара), так и в слабом поле, они позволяют при современном экспериментальном уровне фиксировать и оценивать релятивистские поправки параметров движения в Солнечной системе (Солнце, Юпитер). Для исследования применен метод проекции релятивистских уравнений движения и энергии в евклидовой плоскости.

Вблизи коллапсара определены релятивистские поправки от реактивного ускорения; расширен класс траекторий Чандрасекара; исследования проведены путем использования впервые полученных интегралов движения в случае постоянной радиальной и касательной реактивных ускорений.

Получены решения в переходной зоне от сильных полей и малого влияния реактивного ускорения до слабых полей и сильного влияния реактивного ускорения.

Предложен принцип восстановления ускорений движения переменной массы; изучено уравнение движения ТПМ во вращающейся системе отсчета, не связанного с физическим вращением поля.

Впервые получены релятивистские поправки к импульсу при организации близлежащих около Солнца спутников.

6. Исследованы случаи использования пятимерной теории Калуцы – Эйнштейна для получения гироскопической реактивной силы в случае цилиндричности метрики (независимость от пятой координаты).

В вакуумном решении Росса метрика, наоборот, зависит от пятой координаты. Предлагая эту координату пропорциональной

относительной массе покоя, удалось получить, дополнительно используя геометрию Вейля, геодезические для сосредоточенной переменной массы покоя.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Закиров У.Н. 'О некоторых оценках энергетически оптимальных траекторий Зонда'// XXIV Международный астронавтический конгресс: "Космические исследования: влияние на науку и технику". Тезисы докладов, Баку, 1973, М.: ВИНТИ, 1973, с.444.

2. Zakirov U.N. 'On equations, dynamics and kinematical relations describing maneuver of an interstellar relativistic Probe'. – The report of 25th International Astronautical Congress, Amsterdam, September 30-5 October, 1974, IAF, p. 74-75.

3. Закиров У.Н. 'О силе Минковского для точки переменной массы'// Сб. "Динамика и эволюция звездных систем". Всесоюзное астрономо-геодезическое общество, вып. 4, Москва, 1975, с. 230.

4. Закиров У.Н. 'Некоторые вопросы релятивистского аналога уравнения Мещерского'// Тезисы докладов на 4-ой гравитационной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации", Минск, 1976, с. 69.

5. Закиров У.Н. 'Общековариантные уравнения движения точки переменной массы покоя и релятивистские аналоги некоторых задач астродинамики'// Препринт N 41, ИПМ АН, 1977.

6. Закиров У.Н. 'Уравнения движения космического тела переменного состава в предпосылках теории относительности'// ДАН

7. Закиров У.Н. 'Слаборелятивистское движение переменной массы покоя при постоянной мощности (энергии) отбрасываемых частиц' // Сб. "Появление космических фотонов на Земле и звездах". Всесоюзное астрономо-геодезическое общество, Москва, 1980, вып. 9, с.254.

8. Закиров У.Н. 'Введение в механику космического полета в предпосылках теории относительности' // V Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике, Алма-Ата, аннотация докладов, изд-во "Наука" Казахской ССР, Алма-Ата, 1981, с. 160.

9. Закиров У.Н. 'Уравнения движения космического тела переменного состава в предпосылках теории относительности'// Тезисы докладов на V Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации", Москва, МГУ, июль 1981, с.73.

10. Закиров У.Н. 'К релятивистской гамильтоновой динамике точки переменной массы покоя, движущейся в сопротивляющейся среде'// Рег. N 3605-83, Деп. 4.07.83.

11. Закиров У.Н. 'Определение оптимального числа ступеней релятивистской ракеты при условии забора внешней среды'// Труды 17-х Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, 1983, М., Институт истории естествознания и техники РАН, с.49.

12. Закиров У.Н. 'Особенности проектирования децисветового космического аппарата'// Труды VII Научных чтений по космонавтике. М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1984, с.95.

13. Закиров У.Н. 'Механика релятивистских космических по-

14. Закиров У.Н. 'Оптимальный подбор ступеней составной многоступенчатой слаборелятивистской микротермоядерной ракеты в рамках специальной теории относительности'// Научное творчество К.Э.Циолковского и современное развитие его идей. М., Наука, 1984, с. 27-32.

15. Закиров У.Н. 'К теории маневрирования точки переменной массы в гравитационном поле Шварцшильда'// Доклады на IX Чтениях, посвященных пионерам космонавтики, М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1985.

16. Закиров У.Н., Кожанов Т.С. 'Методологическое значение геометрии Лобачевского и парадоксы близнецов в релятивистской динамике точки переменной массы'// Тезисы 1-ой межинститутской конференции, Алма-Ата, АН Каз.ССР, 1985.

17. Закиров У.Н. 'Уравнения относительного движения двух близколетящих спутников в рамках теории относительности'// Сб. Гравитация и теория относительности, вып 23, изд-во Казанского гос.университета, 1985, с. 54-62.

18. Закиров У.Н., Маров М.Я. 'О проекте полета космического Зонда к планетной системы Звезды'. - В кн. "Проблемы поиска жизни во Вселенной". (Под ред. акад. В.А.Амбарцумяна, чл.-корр. АН В.С.Троицкого). М., Наука, 1986, с. 215-220.

19. Закиров У.Н. 'Основные уравнения деформируемой Среды с переменной массой покоя'// Сб. Взаимодействие оболочек со средой. Труды семинара, вып. XX, ч.2, КФТИ КФАН СССР, Казань, 1987, с. 250-258.

20. Закиров У.Н. 'Влияние относительного веса ступеней на оптимальные характеристики децисветового космического аппа-

рата // Труды 20-х Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "Проблемы ракетной и космической техники", М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1988, с.91

21. Закиров У.Н. 'К теории релятивистского сопла'// Труды XXI Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "Проблемы ракетной и космической техники" М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1988, с. 79-86.

22. Закиров У.Н. 'О космическом зонде к ближайшим звездам' // Труды 21-х Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "Проблемы ракетной и космической техники", М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1988, с. 186.

23. Закиров У.Н. 'Прямые и обратные задачи релятивистской динамики точки переменной массы покоя'// Материалы VII Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации", изд-во Ереванского госуниверситета, Ереван, 1988, с. 70.

24. Закиров У.Н. 'Сравнительный анализ равномерного и оптимального распределения топлива по ступеням релятивистской ракеты'// Труды XXII Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1988.

25. Закиров У.Н. 'Проблемы взаимодействия ударника и оболочки при миллисветовых скоростях (обзор)'// Сб. Нестационарные задачи механики. Труды семинара, вып. XXII, КФТИ КФАН СССР, Казань, 1989, N 22, с.118.

26. Закиров У.Н. 'К доказательству основных уравнений релятивистской динамики точки переменной массы покоя методом "непроницаемости"'/ / Тезисы IX Республиканской межвузовской конференции по математике и механике, Алма-Ата, 1989, с.42.

27. Закиров У.Н. 'О четвертом варианте пилотируемой экспедиции на Марс'// Труды 23-х Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "К.Э.Циолковский и проблемы исследования и освоения космического пространства", М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1989, с.50.

28. Zakirov U.N. 'The Perspectives of Solar System Development by millilight Space Apparatus (SA)'. - The Report of 40th International Astronautical Congress, Malaga, Spain, October 7-13, 1989, IAF-89-661.

29. Zakirov U.N. 'Strategy of the Mutual Search of Civilization by the Means of Probes'. - Third International Symposium, "Bioastronomy the Search for Extraterrestrial Life", Val Cenis, Haute Maurienne, Savoie, France, Springer-Verlag, 1990, p.346.

30. Закиров У.Н. 'Межзвездный пилотируемый аппарат. Перспективы проектирования'// Доклад на 26-х Чтениях, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "Проблемы ракетной и космической техники", 1991, Калуга – Москва, Институт истории естествознания и техники РАН.

31. Закиров У.Н. 'Новые пути повышения эффективности межзвездных термоядерных движателей'// Труды 25-х Чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э.Циолковского, секция "Проблемы ракетной и космической техни-

ки", 1991, Калуга, Институт истории естествознания и техники РАН, с. 117-120.

32. Закиров У.Н. 'Новые элементы проектных характеристик перспективных термоядерных ЛА'// Труды 25-х научных чтений по космонавтике, секция "Летательные аппараты. Проектирование и конструкция", М., Институт истории естествознания и техники РАН, 1991.

33. Закиров У.Н. 'Уравнения релятивистской динамики точки переменной массы покоя'// Сб. Гравитация и теория относительности, вып. 28, 1991, Казань, КГУ, с. 69-73.

34. Закиров У.Н. 'Механика релятивистских космических полетов'// VII Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотация докладов, Москва, 5-21 августа 1991, МГУ, с. 158.

35. Zakirov U.N. 'Scientific and Engineering Solution about Interstellar Piloted Vehicle'// Abstracts of 42th IAF Congress, Canada, 1991, IAA-91-722.

36. Zakirov U.N. 'The Movement of the particles of the variable restmass'// Abstracts of 13th International Conf. on general relativity and gravitation, Huerta Grande, Cordova, Argentina, 1992.

37. Закиров У.Н. 'О связи переменной массы с длиной в пространстве скоростей Лобачевского'// Международная научная конференция "Лобачевский и современная геометрия", Тезисы докладов, ч. II, Казань, КГУ, 1992, с. 25.

38. Zakirov U.N. 'The movement of the particles of the variable restmass in the cosmology models and in binary systems'// Abstracts of 6th Asian pacific regional meeting on astronomy. Ganeshkhind, India, 1993.

39. Закиров У.И. 'Второй закон Ньютона и гипотеза о размерности мира // В программе и тезисах международной конференции "Ньютон и проблемы механики твердых и деформируемых тел", С-Петербург, 22-27 марта 1993 г., с.44.

40. Zakirov U.N. 'On possibility of maximum velocity's realization under optimum division of body of variable restmass'// Abstract of the conference "All-Polish seminar on Sky Mechanics", Bachotek, Poland, 1994.

41. Zakirov U.N. 'Scientific and Engineering Problems of Creating the Vehicle for Exploring the Outer Solar System'// Abstract of 45th IAF Congress, Israel, 1994, AA-94-1AA.

42. Zakirov U.N. 'The geodesics of variable rest masses and Celestial Mechanical Problems'// Abstract of the Reports at the international school-seminar, Odessa, 1995, p. 134.

43. Zakirov U.N. 'The Research of the geodesics of a material particle of variable rest masses on the basis of the Volumes Solution of Ross'// SCIENTIFIC TALKS at the international conference "Geometrization of Physics", Kazan, 1995, p. 220 .

44. Zakirov U.N. 'The Relativity Mechanics of the Concentrated Variable Rest Mass' (Review).// The Report IAF-96 - J.1.07., 1996, 47th IAF Congress, 7-11 October, Beijing, China.

45. Zakirov U.N. 'Generalized Methods of the Analysis of the Loss of the Mass of the Millilight Space Ship Returning to the Solar System'// The Report IAF-96-1AA, 4.1.06, 1996, 47th IAF Congress, 7-11 October, Beijing, China.

46. Закиров У.И. 'Релятивистская механика сосредоточенной переменной массы покоя' (Обзор).// Тезисы доклада на 9 гравитационной конференции, Новгород, июнь 1996.

У. Закиров

Закиров Урал Нуриевич

”Исследования по динамике тел переменной массы покоя”.

Ключевые слова: *Релятивистская механика, сосредоточенная масса покоя, скорость истечения, реактивное ускорение, гравитационные волны.*

Объектом исследования является динамика тел переменной массы покоя. Целью работы является разработка основ научного направления теоретической физики – релятивистской механики сосредоточенной переменной массы покоя в рамках специальной и общей теории относительности Эйнштейна.

В диссертации получены в замкнутой форме релятивистские ковариантные уравнения энергии и импульсов сосредоточенной переменной массы покоя, по форме совпадающие с уравнениями энергии и импульсов центра тяжести тела постоянной массы; в качестве внешних сил возникают силы реактивные за счет отбрасывания и присоединения частиц, а также выделения энергии при действии диссипативных сил.

Результаты диссертации могут быть применены при составлении алгоритмов баллистического проектирования тел с термоядерной энергетикой, создании оптимальных мишеней при проведении термоядерного синтеза, создании методики измерения релятивистских эффектов при движении окосолнечных зондов. Областью применения результатов диссертации являются: анализ космических моделей, где учитываются изменения масс покоя, эволюции двойных взаимодействующих звездных систем, являющихся источниками гравитационных волн.

Zakirov Ural Nurievich.

" The Research on the Dynamics of the Bodies of the variable rest mass".

The key words: *relativistic mechanics, concentrated rest mass, rejection, jet forces, gravity waves.*

The study of the dynamics of the bodies of the variable rest mass is the object of this thesis. The aim of the thesis is the elaboration of the foundations of the new scientific direction of the theoretical physics -- the relativity mechanics of concentrated variable rest mass within the limits of the special and general theory of the relative expansion.

Within the limited form the relativistic covariant equations of the energy and impulse concentrated variable rest mass are received in the thesis. Formally they coincide with the energy and impulse equations of the center of gravity of the body with constant mass. The jet forces appear as the outer forces because of the rejection and joining of the particles and because of the isolation of the energy under the effect of the thermal energy.

It is recommended to use the results of the thesis working out algorithms of the ballistic projection of the bodies with the thermonuclear power engineering; the projection of optimal targets under the nuclear fusion; the creation of the methods of measuring relativistic effects under the movements of solar probes.

Откопировано на ризографе в полиграфической лаборатории КГК.

Тираж 75. Бумага офсетная.

Адрес полиграфической лаборатории КГК:
г.Казань, ул.Большая Красная, 38.

Рэзюме

Закіраў Урал Нурыевіч

"Даследаванні па дынаміцы цёл пераменнай масы спакоя".

Ключавыя словы: *Рэлятывісцкая механіка, засяроджанная маса спакоя, скорасць спливання, рэактыўнае паскарэнне, гравітацыйныя хвалі.*

Об'ектам даследвання з'яўляецца дынаміка цёл пераменнай масы спакоя. Мэтай работы з'яўляецца распрацоўка асноў навуковага накірунка тэарэтычнай фізікі — рэлятывісцкай механікі засяроджанай пераменнай масы спакоя ў рамках спецыяльнай і агульнай тэорыі адноснасці Эйнштэйна.

У дысертацыі атрыманы ў замкнутаў форме рэлятывісцкія ўраўненні энергіі і імпульсаў засяроджанай пераменнай масы спакоя, якія па форме супадаюць з ураўненнямі энергіі і імпульсаў цэнтра цяжару цэла пераменная масы; у якасці знешніх сіл узнікаюць сілы рэактыўныя за кошт адкідвання і далучэння часцінак, а таксама выдзялення энергіі пры дзеянні дысіпатыўных сіл.

Вынікі дысертацыі могуць быць выкарыстаны пры састаўленні алгарытмаў баллістычнага праектавання цёл з тэрмаядзернай энергетыкай, стварэнні аптымальных мішэнняў пры праведзенні тэрмаядзернага сінтэза, стварэнні метадыкі вымярэнняў рэлятывісцкіх эфектаў пры руху калясонечных зондаў. Сферай прымянення вынікаў дысертацыі з'яўляюцца: аналіз касмічных мадэляў, дзе ўлічваюцца змяненні мас спакоя, эвалюцыі двайных узаемадзеючых звыздных сістэм з'яўляючыхся крыніцамі гравітацыйных хваль.